

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

УДК 37.6
ББК 92
К59

Козлова И.С.

К59 Электротехника / И.С. Козлова — М. : Т8 Издательские технологии / RUGRAM, 2020. — 160 с. — (Полезные конспекты).

ISBN 978-5-521-75487-8

Данное учебное пособие содержит материал по курсу «Электротехники» и предназначен для учащихся педагогических училищ или студентов ВУЗов. Основные концепции предмета изложены в доступной форме с привлечением примеров.

BIC JN
BISAC EDU000000

ЛЕКЦИЯ № 1. Постоянный ток

1. Электрическая цепь

Электротехника — это наука, изучающая электрические явления для нужд промышленного производства.

Важнейшим электрическим явлением, которое рассматривается в электротехнике, является **электрический ток** — упорядоченное движение заряженных частиц. При рассмотрении тока в металлах он представляется в виде упорядоченного движения электронов (валентных электронов). При этом кристаллическая решетка металла является пространственно-периодичной.

Электрический ток в металлах создается дрейфом электронов, накладывающимся на их беспорядочное тепловое движение, имеющее относительно большую скорость.

Для существования электрического тока необходимо наличие электрической цепи.

Электрическая цепь — это замкнутый путь для тока из проводников. Необходимым условием существования тока в электрической цепи является наличие в ней источника электрической энергии. Источник призван преобразовывать в электрическую энергию какую-либо другую форму энергии.

Кроме источника, в состав электрической цепи входят приемник электроэнергии и соединительные провода, для замыкания и размыкания цепи тока необходим выключатель (рубильник).

В электрических цепях электрический ток может оказывать следующие виды действий: тепловое действие при прохождении через металлические проводники; химическое действие, проявляющееся при прохождении через электролиты и выражающееся в явлении электролиза; электродинамическое действие, проявляющееся во взаимодействии проводников с токами; электромагнитное действие, проявляющееся в действии на магнитную стрелку.

На основании наблюдения направления переноса металла током через электролит в электролитических ваннах считается, что в электрической цепи ток проходит в направлении этого переноса, т. е. в направлении от положительного полюса источника к отрицательному. Установив, что ток в металлах является движением электронов,

условно приняли за **направление электрического тока** направление, противоположное направлению дрейфа электронов.

Количественной характеристикой электрического тока является **сила тока** — количество электричества q , которое протекает через поперечное сечение проводника в единицу времени:

$$I = q / t.$$

В случае, если заряды движутся в проводнике неравномерно, изменяющуюся силу тока можно найти по формуле:

$$i = dq / dt.$$

Количество электричества в системе СИ измеряется в кулонах (Кл), а сила тока измеряется в амперах (А).

Ампер является силой неизменяющегося тока, который, проходя по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого кругового сечения, расположенным на расстоянии 1 м один от другого в вакууме, вызвал бы между этими проводниками силу, равную 1 Н/м.

Кулон определяется как количество электричества, протекающее через поперечное сечение проводника в 1 с при неизменяющейся силе тока в 1 А.

Для характеристики движения электричества в данной точке поверхности применяется плотность тока δ , которая определяется по формуле:

$$\delta = I / S,$$

где S — площадь поперечного сечения проводника.

2. Законы Кирхгофа

Для расчета неразветвленных электрических цепей применяются

закон Ома для участка цепи $I = \frac{U}{R}$ и закон Ома для полной

цепи $I = \frac{E}{R + r}$. В этих формулах U — напряжение на участке це-

пи; R — сопротивление в цепи; E — электродвижущая сила источника; r — внутреннее сопротивление источника.

Для расчета разветвленных цепей применяют два закона Кирхгофа, называемые также правилами Кирхгофа. Оба эти законы установлены на основании многочисленных опытов и являются следствием закона сохранения энергии.

Первый закон Кирхгофа: алгебраическая сумма токов в любом узле электрической цепи равна нулю:

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0.$$

Другими словами, сумма токов, входящих в каждый из узлов, равна сумме токов, выходящих из него (рис. 1).

Данный закон является следствием того, что электрическая цепь замкнута, т. е. в узлах цепи заряды не могут накапливаться в течение длительного времени или возникать в них, так как это могло бы привести к изменению потенциалов узлов и изменению токов в цепи.

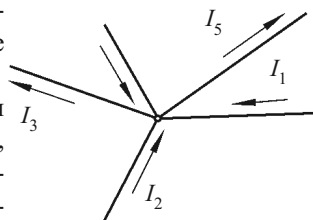


Рис. 1. Токи в узле

По первому закону при последовательном соединении проводников сила тока через различные сечения цепи должна быть одинаковой.

С помощью первого закона Кирхгофа и закона Ома можно рассчитать общую силу тока параллельно соединенных приемников, общую проводимость и общее сопротивление такой разветвленной цепи тока.

Параллельным называется такое соединение двух элементов цепи, при котором они находятся под одним и тем же напряжением. При параллельном соединении проводников их эквивалентное сопротивление находится по формуле:

$$R_y = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Общая сила тока при параллельном соединении находится по формуле:

$$I = \sum_{k=1}^n I_k = U \times \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}.$$

По **второму закону Кирхгофа** в любом замкнутом электрическом контуре алгебраическая сумма электродвижущая сила (э. д. с.)

равна алгебраической сумме напряжений на сопротивлениях, входящих в этот контур.

Э. д. с. и токи при этом считаются положительными, если их направления совпадают с произвольно выбранным направлением обхода контура (рис. 2).

По второму закону Кирхгофа составляются уравнения вида:

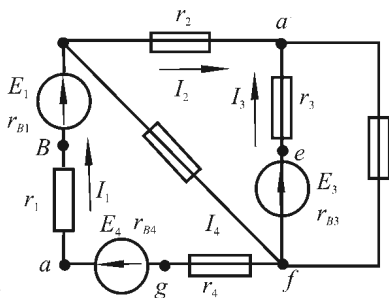


Рис. 2. Разветвленная цепь

$$\sum_{k=1}^n E_k = \sum_{k=1}^n I_k R_k.$$

На основании второго закона Кирхгофа составляется потенциальная диаграмма (рис. 2) с учетом того, что алгебраическая сумма изменений потенциала при обходе замкнутого круга равна нулю. В диаграмме по оси абсцисс откладываются сопротивления между отдельными точками цепи, а по оси ординат — потенциалы этих точек.

3. Работа и мощность электрического тока

Работу источника электроэнергии для перемещения заряда q вдоль какого-то участка можно найти как произведение этого заряда на напряжение U между концами участка, т. е. $A = Uq$. Если заряды переносятся равномерно со временем, количество электричества, перенесенное зарядом, определится соотношением $q = It$, следовательно, работа определяется выражением: $A = UIt$.

Таким образом, если напряжение не изменяется, работа равна произведению напряжения на силу тока и на время. В качестве единицы работы применяют джоуль (Дж) = $(B \times A \times c)$.

Если напряжение с течением времени изменяется, то работу можно вычислить по формуле:

$$A = \int_{t_1}^{t_2} ui \, dt.$$

где u — мгновенное значение напряжения;

i — мгновенное значение силы тока;

t_1 — начальное время;

t_2 — конечное время.

Мощность P определяет быстроту выполнения работы электрическим током:

$$P = A / t.$$

Следовательно, $P = UI$ при условии, что сила тока и напряжение не изменяются со временем. Если данные параметры изменяются, мгновенная мощность электрического тока будет определяться соотношением:

$$p = \frac{dA}{dt} = ui.$$

Единицей мощности в СИ является ватт (Вт); 1 Вт = Дж/с = В·А.

Для измерения мощности на практике применяется прибор прямого отсчета — ваттметр. Он имеет две измерительные цепи (и две обмотки) — цепь тока, включаемую последовательно с объектом измерения (как амперметр), и цепь напряжения, включаемую параллельно этому объекту (как вольтметр). При постоянном токе мощность часто определяется на основании показаний амперметра и вольтметра, но при переменном токе ваттметр необходим.

Мощность в электрических цепях может быть найдена и при помощи других формул:

$$P = UI = I^2 R = U^2 G.$$

ЛЕКЦИЯ № 2. Расчет электрических цепей постоянного тока

1. Эквивалентные схемы источника электрической энергии

Содержащийся в цепи источник электрической энергии развивает э. д. с. E и характеризуется внутренним сопротивлением r . Эти параметры накладывают некоторые изменения в зависимости от силы тока I , которую отдает источник во внешнюю цепь. Однако часто можно не учитывать данные изменения, и это дает возможность считать E и r постоянными, не зависящими от силы тока. Таким образом, предоставляется возможность при расчете схем цепей изображать реальный источник электроэнергии эквивалентной схемой (рис. 3а). На данной схеме E — источник с постоянной э. д. с., r — неизменяющееся внутреннее сопротивление источника.

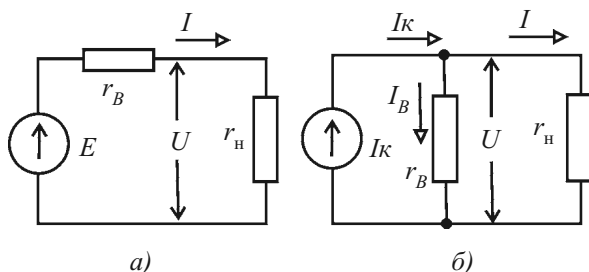


Рис. 3. Эквивалентные схемы источника: E — источник с постоянной э. д. с.; r — неизменяющееся внутреннее сопротивление источника

Напряжение, которое выдает источник, определяется соотношением:

$$U = E - Ar.$$

Подобные источники принято называть источником э. д. с. При коротком замыкании сила тока источника э. д. с. определяется соотношением: $I_{\kappa} = E / r$.

В случае, когда внутреннее сопротивление мало, $U = E = \text{const}$. Подобный источник, в котором напряжение не зависит от значения силы тока, называется источником напряжения. Для идеального источника напряжения $I_{\kappa} = \infty$.

В некоторых электрических цепях (в цепях с электронными лампами или полупроводниковыми приборами) значение внутреннего сопротивления r источника энергии значительно превышает сопротивление внешней цепи $r \gg R$. Такие цепи характеризуются тем, что сила тока, отдаваемая источником, равна силе тока короткого замыкания источника. Такой источник принято называть источником тока, т. е. считать, что сила тока, которую отдает такой источник, не зависит от сопротивления цепи, на которую он замкнут, а равна силе тока короткого замыкания. В таких цепях изменение внешнего сопротивления вызывает только изменение напряжения U . При расчете эквивалентную схему источника э. д. с. можно заменить эквивалентной схемой источника тока, перейдя от уравнения напряжений к уравнению токов.

Разделим уравнение для э. д. с. $E = I_{\kappa} + U$ на внутреннее сопротивление:

$$\frac{E}{r} = I_{\kappa} = \frac{U}{r} + I = I_B + I$$

Итак, сила тока источника складывается из суммы силы тока внутри источника и во внешней цепи. Эквивалентная схема источника тока показана на рисунке 3б.

Уравнение для токов можно изменить, заменив сопротивление проводимостью: $g_B = 1 / r$, $I = U / R = Ug$.

$$I_{\kappa} = U (g_B + g).$$

Таким образом, чем больше проводимость внешней цепи, тем меньше сила тока I_B , и если $g > g_B$, то

$$I_{\kappa} \approx Ug = I.$$

Такой источник является идеальным источником тока (источником с заданным током). При подключении такого источника напряжение прямо пропорционально сопротивлению:

$$U = \frac{I_{\kappa}}{g} = I_{\kappa} R.$$

Для внешней цепи источник э. д. с. можно заменить эквивалентным источником тока. Так как напряжение на обоих источниках одинаково, можно получить условие эквивалентности.

Напряжение на источнике э. д. с. определяется соотношением:

$$U = E - I r_1 = E - E \frac{r_1}{r_1 + R} = E \frac{R}{r_1 + R};$$

для источника тока —
$$U = \frac{I_{\kappa}}{g_B + g} = I_{\kappa} \frac{r_2 R}{r_2 + R},$$

где r_1 — внутреннее сопротивление источника э. д. с.;

g_B — его внутренняя проводимость.

Эквивалентность соблюдается при условии, что выполняются соотношения: $I_{\kappa} = E / r_1$ и $r_1 = r_2$.

Но тогда не выполняются внутренние энергетические условия данных источников. Это связано с тем, что потери мощности внутри

при источнике э. д. с. определяются формулой: $I^2 r = \left(\frac{E}{r + R} \right)^2 r,$

а для источника тока — $I_{\kappa}^2 = \frac{U^2}{r}.$

2. Применение законов Кирхгофа для расчета электрических цепей

Любой из методов расчета электрических цепей основывается на **законах Кирхгофа**. Это связано с тем, что любую цепь можно полностью определить этими законами.

Рассчитать электрическую цепь — значит, найти значения токов, напряжений и мощностей всех или некоторых определенных